

Title	Study on the Mechanisms of Dry Drawing of Carbon Nanotube Fiber
Author(s)	Ahmadreza, Fallahgilvaei
Citation	
Issue Date	
oa:version	
URL	https://hdl.handle.net/11094/59229
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について ご参照 ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏 名	アハマドレザ ファラギルバエイ AHMADREZA FALLAHGILVAEI
博士の専攻分野の名称	博 士 (工学)
学 位 記 番 号	第 2 5 5 0 0 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 24 年 3 月 22 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科機械工学専攻
学 位 論 文 名	Study on the Mechanisms of Dry Drawing of Carbon Nanotube Fiber (カーボンナノチューブ繊維の乾式紡糸機構に関する研究)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 中山 喜萬 (副査) 教 授 澁谷 陽二 教 授 高谷 裕浩 名古屋大学大学院工学研究科量子工学専攻教授 齋藤 弥八

論文内容の要旨

Carbon nanotubes (CNT) are a distinctive class of molecules that exhibit unique properties. The first investigations of CNT properties revealed many interesting features, which are very attractive for solving the technological hurdles that the semiconductor industry is facing if scaling of circuits continues for another decade. The high current - carrying capacity, high thermal conductivity and fascinating mechanical properties of CNTs made them suitable for many applications. Fibers and yarns have been proposed as methods for using nanotubes on a macroscopic scale, mainly because, in analogy to high-performance polymer fibers, they allow CNTs to be aligned and then weaved into textile structures or used as cables. It has shown that brush-like assembly of CNTs (BCNT) synthesized by chemical vapor deposition (CVD) method can be woven into CNT fibers and yarns just by grabbing and drawing a part of the sample. This process does not require any intermediate stage for solving CNTs in a solvent, and therefore is called dry drawing process.

Dry spun CNT fiber inherits fantastic mechanical and electrical properties of individual CNTs. This method can be easily adapted for mass production of CNT fibers. But there are some drawbacks with this method. First, not all BCNTs are spinnable and different samples exhibit different rates of spinnability. Second, mechanical properties of CNT fibers are much inferior to individual CNTs. To find suitable solutions for these problems it is necessary to understand the mechanisms behind the dry drawing process. Thus in this study, it has been tried to observe the dry drawing of CNT fibers and find the mechanisms behind this process.

By exploring synthesis conditions for making spinnable sample, the effect of CVD conditions on the spinnability of CNT samples is investigated by synthesizing BCNTs at different CVD conditions. Then the process of drawing yarn from a sample is observed under optical microscope and inside of a scanning electron microscope and some primary mechanisms of the drawing process are revealed. Detailed observation of the drawing process of the synthesized samples under optical microscope and SEM shows a reciprocating motion of the bundles during the drawing process. In this mechanism, as bundles separate from the sample, they keep separating and they move towards top or bottom of the sample. In their journey, these bundles totally separate from the sample somewhere between these extremes (top and bottom of the sample). The SEM observations proved that wavy structure at the top and bottom of the samples gives rise to the formation of new bundles because of the entanglement of those bundles that are separating from the sample and those CNTs that still lie on the sample sidewall.

By means of an atomic force microscope cantilever, the force required for separating a few CNTs from the sidewall of the sample is measured. Results reveal that the separation force in spinnable samples is position dependent. The amount of the separation force is higher at the top of the samples compared to that of in the middle of the sample. This difference in the amount of the force is attributed to the higher entanglement at the top of the sample. In contrast, un-spinnable samples exhibit a position independent separation force. Finally, The separation force measurement is performed on the hydrogenated and oxidized samples. Other complementary tests are used to analyze and define the role of these treatments on the in intertube forces. This information is necessary for manipulating the spinnability of CNT samples and for controlling tribology of CNTs.

The results of this research provide a key insight to the dry drawing process of CNT fibers, and facilitate the further increase in the strength of CNT yarns.

カーボンナノチューブ (CNT) は、これまでの素材にはない優れた機械的性質と高いアスペクト比をもつ。この性質を利用して、走査型プローブ顕微鏡探針やナノピンセット、複合材用フィラー、ヤモリテープ、繊維などへの応用が期待されている。本研究は、CNTの繊維化に関するもので、基板上に垂直に配向した様態に合成したブラシ状CNTからCNT繊維を乾式紡糸する方法における紡糸機構を明らかにしたものである。主な成果を要約すると以下のとおりである。

- (1) ブラシ状CNTのすべてが紡糸可能ではない。紡糸性能に優れたものを合成する上で、プロセス前の水分や空気などの残留ガスの低減と、CNT合成前の昇温および加熱プロセスの制御が重要であるとの結論を得た。これにより、活性触媒微粒子が高密度に準備され、紡糸性能に優れた高配向・高密度CNTが合成される。
- (2) ブラシ状CNT試料から紡糸される様子を光学顕微鏡により観察し、個々のCNTが試料から紡ぎ出されるときバンドル状態にあり、紡ぎ出される位置が試料の上方あるいは下方へと動く、また、1本のCNTバンドルが完全に試料から離れる位置が試料の上部か下部の末端にあることを明らかにした。
- (3) CNTバンドルがブラシ状CNT試料の上部あるいは下部から離れるときに、次の新しいCNTバンドルが引出される様子を走査電子顕微鏡により観察した。試料の上部および下部では個々のCNTの湾曲あるいは波状形態によって絡み合っており、これによって、1本のCNTバンドルが試料から離れるときに新しいCNTバンドルを引出していることを明らかにした。
- (4) 原子間力顕微鏡用のシリコン探針先端に接着材を塗布し、これをブラシ状CNT試料の側壁の所定の位置に押しつけて2, 3本のCNTを引出し、シリコン探針の撓みからその離脱力を計測しCNT間相互作用を解析する方法を考案した。これにより、試料の上部および下部におけるCNTの絡みによる離脱力が試料の中程の値より大きいことが、高い紡糸性能を得るために重要であることを明らかにした。
- (5) ブラシ状CNT試料の適度な酸化処理によりCNT表面が平滑になって、隣接CNT間の結合が誘起されてCNT間相互作用が強くなる。これにより、紡糸性能が向上することを見いだした。

以上のように、本論文では、機械的強度に優れたCNTを繊維化する乾式紡糸機構を明らかにした。これにより、紡糸性能の高いブラシ状CNTの構造的特徴が明確になり、その合成法に新しい指針が与えられ、また、CNT撚糸のさらなる高強度化への道が拓かれた。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。